



LfL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Untersuchungen zu den Trockenmasseverlusten in Siloanlagen mit unterschiedlicher Abdeckung



LfL-Information

Impressum:

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
Internet: www.LfL.bayern.de

Redaktion: Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft
Prof. Dürrwaechterplatz 3, 85586 Poing-Grub
E-Mail: Tierernaehrung@LfL.bayern.de
Tel.: 089 99141 400

1. Auflage November 2011

Druck: nur im Internet

Titelbild: Triller-Hofmann, Rosenbauer



Untersuchungen zu den Trockenmasseverlusten in Siloanlagen mit unterschiedlicher Abdeckung in Zusammenarbeit mit dem AELF Nördlingen

Dr. Wolfgang Richter¹

Natalie Zimmermann¹

Miriam Abriel¹

Dr. Stefan Naser²

Dr. Manfred Schuster³

Karin Kölln-Höllrigl³

Jutta Triller-Hofmann⁴

Ingrid Rosenbauer⁴

Hannes Geitner⁴

¹⁾ **Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, LfL**

²⁾ **Institut für Landtechnik und Tierhaltung, LfL**

³⁾ **Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen, LfL**

⁴⁾ **Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Nördlingen**

Zusammenführung Dr. Johannes Ostertag¹

Abkürzungsverzeichnis

AELF	Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
BS	Buttersäure
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
ES	Essigsäure
FM	Frischmasse
GS	Gesamtsäure
kW _{el}	Kilowatt elektrische Leistung
l	Liter
ME	verdauliche Energie
MJ	Megajoule
MS	Milchsäure
MW	Megawatt
NEL	Netto-Energie-Laktation
NfE	Stickstoff-freie Extraktstoffe
NH ₃	Ammoniak
NWG	Nachweisgrenze
oTM	organische Trockenmasse
PS	Propionsäure
TM	Trockenmasse
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	7
2	Voruntersuchungen	8
2.1	Fallstudie	8
2.2	Laborsiloversuch	9
3	Material und Methode	11
3.1	Ausgangssituation am Amt für Landwirtschaft und Forsten Nördlingen	11
3.2	Betriebsübersicht und Versuchsbeschreibung.....	12
3.3	Bilanznetztechnik.....	16
3.4	Controlling am Silo.....	17
3.4.1	Temperaturmessung	17
3.4.2	Bestimmung der Dichte und Probenahme.....	17
3.4.3	Laboruntersuchung.....	17
3.4.4	Batch-Versuche/Batch-Test	17
4	Ergebnisse	18
4.1	Controlling am Silo.....	18
4.1.1	Temperatur- und Dichtemessung	18
4.1.2	Rohnährstoffe der Silagen.....	18
4.1.3	Gärqualität.....	19
4.2	Trockenmasseverluste	20
4.2.1	Verluste in den Bilanznetzen	20
4.2.2	Abschätzung der Trockenmasseverluste ganzer Silos	21
4.3	Gasausbeute.....	23
5	Fazit	24
6	Beratungsempfehlung	24
7	weiterführende Literatur	25
8	Anhang	26
8.1	Nährstoffuntersuchungen	26
8.2	Gärparameteruntersuchungen	27
8.2.1	Bestimmung der Gärsäuren.....	27
8.2.2	Bestimmung des Ammoniakgehaltes.....	27
8.2.3	Bestimmung des Alkoholgehaltes.....	27
8.3	Bestimmung der Gärgasbildung.....	27

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ergebnisse der Temperatur- und Dichtemessung am Silo, unterteilt hinsichtlich vorgefundener Substratschichten	8
Tabelle 2: Trockenmasse (TM) und Gärparameter der entnommenen Proben	9
Tabelle 3: Trockenmasseverluste und Gasbildungspotentiale bei unterschiedlichen Konservierungsverfahren.....	10
Tabelle 4: Übersicht der Betriebe.....	12
Tabelle 5: gemessene Temperaturen (100 cm) und Raumgewichte (kgTM/m ³) an festgelegten Stellen der Silos mit unterschiedlicher Abdeckung	18
Tabelle 6: Ergebnisse der Rohrnährstoffanalyse von Sammelproben, gebildet aus mindestens 3 Einzelproben je Ebene im Silo	19
Tabelle 7: Mittelwerte aus der Analyse der Gärparameter von Einzelproben (n = 48)	20
Tabelle 8: TM-Verluste (Mittelwert (± Standardabweichung)) in Bilanznetzen bei unterschiedlicher Abdeckung und Lage im Silo	20
Tabelle 9: Rechengang zur Abschätzung der TM-Verlusten im gesamten Silo	22
Tabelle 10: Gasausbeuten von unterschiedlich abgedecktem Material.....	23
Tabelle 11: geschätzte Biogaserträge von abgedeckten und nicht abgedeckten Maissilos.....	23

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: auf Rotteschicht natürlich begrüntes Maissilo (Foto: Richter)	7
Abbildung 2: nicht abgedecktes Silo (Foto: Kaiser)	8
Abbildung 3: Trockenmasseverluste in Laborsilos mit unterschiedlicher Behandlung	10
Abbildung 4: Lage der beteiligten Biogasanlagen im Landkreis Donau – Ries	11
Abbildung 5: Lage der Bilanznetze im mit Folie abgedeckten Silo (Quelle: AELF Nördlingen).....	13
Abbildung 6: abgedecktes Silo nach Abschluss des Einsilierens (Foto: AELF).....	13
Abbildung 7: Lage der Bilanznetze im mit Rapshäcksel bedeckten Silo (Quelle: AELF).....	14
Abbildung 8: Anlieferung und gleichmäßiges Verteilen der Rapshäcksel	14
Abbildung 9: Lage der Bilanznetze im mit Sonnenblumenhäcksel und teilweise mit Folie bedeckten Silo (Quelle: AELF).....	15
Abbildung 10: natürliche Begrünung und zusätzliche Folienabdeckung (links); Bilanznetze kurz vor der Bergung (rechts).....	15
Abbildung 11: Lage der Bilanznetze im nicht abgedeckten Silo (Quelle: AELF).....	16
Abbildung 12: Lage der Bilanznetze im Silo, Kunststoffbänder in Richtung Anschnitt	17
Abbildung 13: Trockenmassegehalte in den Bilanznetzen beim Einbringen und nach der Bergung	21

1 Einführung

Ziel der Silierung ist die Haltbarmachung von pflanzlichen Ausgangsstoffen durch Luftabschluss und Milchsäuregärung. Dieses Ziel verfolgen sowohl Tierhalter als auch Biogasanlagen-Betreiber. Neben dem Erhalt des Futterwerts ist das Erreichen einer erstklassigen Gärqualität für eine hohe Futterakzeptanz und –aufnahme die Herausforderung für den Tierhalter. Gerade die Akzeptanz spielt für Biogasanlagen jedoch keine Rolle. Die Anlage frisst, was sie bekommt. Die Auswirkungen schlechter Substratqualität zeigen sich nicht so deutlich wie beim Tier, auch wenn sich der Fermenter nicht wesentlich vom Pansen des Rindes unterscheidet.

Dies neben der wachsenden Gefährdung durch immer größere und höhere Silagehaufen hat einige Biogasanlagen-Betreiber dazu bewegt auf eine Abdeckung mit Folie zu verzichten. Über die Auswirkungen dieser Verfahrensweise auf Substratqualität und –verluste, Fermenterleistung und somit Wirtschaftlichkeit ist wenig bekannt. Daher wurde in der vorliegenden Feldstudie versucht, die Verluste bei unterschiedlichen Abdeckverfahren mit der Bilanznetzmethode zu schätzen und zu vergleichen.

An der Feldstudie waren zwei Institute der LfL, das Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft (ITE) und das Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT), und das Amt für Ernährung Landwirtschaft und Forsten in Nördlingen beteiligt. Letzteres ist deshalb von großer Bedeutung, da der Verwaltungsbereich dieses Amtes die höchste Biogasanlagendichte, bzw. die höchste installierte Leistung je Fläche aufweist. Die Region leistet in Bayern Pionierarbeit, wozu auch das Nicht-Abdecken gehört (Abbildung 1, Abbildung 2). Alle beprobten Anlagen befanden sich in unmittelbarer Nähe zum AELF Nördlingen. Die Auswahl der Anlagen, die Planung und Durchführung der Bilanznetzeinlage und Silobeprobungen erfolgten durch die Mitarbeiter des Amtes. Diese Arbeit ist daher besonders hervorzuheben. Am Institut für Landtechnik und Tierhaltung erfolgte die Analyse der Substrate auf deren Biogasertrag und die Zusammensetzung des Biogases in Batch-Versuchen. Die Aufbereitung der Daten und Darstellung der Ergebnisse war Aufgabe des Instituts für Tierernährung und Futterwirtschaft.



Abbildung 1: auf Rotteschicht natürlich begrüntes Maissilo (Foto: Richter)

2 Voruntersuchungen

2.1 Fallstudie



Abbildung 2: nicht abgedecktes Silo (Foto: Kaiser)

An einem nicht abgedeckten Silo, welches Schichten verschiedener Substrate aufwies, wurden exemplarisch Proben genommen, nasschemisch auf Inhaltsstoffe und Gärqualität untersucht und die dazugehörigen Temperaturen gemessen. Die Probenahme erfolgte nach einem festgelegten Schema, um die Anschnittfläche möglichst gut repräsentieren zu können. Die Temperaturmessung erfolgte in 40 und 100 cm Tiefe mit einer Temperaturmesssonde (Tabelle 1). Die Punkte der Messungen waren genau vorgeschrieben (siehe Anhang 1).

Tabelle 1: Ergebnisse der Temperatur- und Dichtemessung am Silo, unterteilt hinsichtlich vorgefundener Substratschichten

Silageart	Messtiefe (cm)	Temperatur (°C)	Dichte (kgTM/m³)
Gras A	40	26,7	295
	100	26,3	
Gras B	40	36,0	239
	100	36,4	
Sudangras	40	19,2	163
	100	19,5	
Mais A	40	23,1	256
	100	23,5	
Mais B	40	20,2	215
	100	20,3	
Mais C	40	57,2	180
	100	44,5	
Mais D	40	51,8	192
	100	50,0	
CCM	40	13,0	740
	100	15,2	

Die Substratschichten wiesen deutliche Unterschiede hinsichtlich der gemessenen Temperatur auf (Tabelle 2), eine Erwärmung des Materials über 25 °C war dabei häufig zu beobachten. Auch die ermittelten Dichten an den Kontrollpunkten variierten stark. Die höchste Dichte war beim CCM nachzuweisen, die geringste beim Sudangras. Beim Silomais wiesen tendenziell Proben mit geringerer Dichte höhere Temperaturen auf.

Bei sehr feuchten Substraten, wie Gras B und Sudangras, war auch Buttersäure zu finden, welche hinsichtlich Emissionen bzw. Immissionen in Orts- oder Ortsrandlagen relevant werden könnte.

Tabelle 2: Trockenmasse (TM) und Gärparameter der entnommenen Proben

Variante	TM		NH ₃ -N	MS	ES	BS	PS	GS
	%	pH	% des N	% TM	% TM	% TM	% TM	% TM
Gras A	32,7	4,2	10,5	12,9	3,6	<NWG	<NWG	16,5
Gras B	24,6	5,4	13,3	1,1	4,6	4,0	0,9	10,6
Sudangras	17,9	5,0	37,7	0,1	5,2	2,7	1,4	9,4
Mais A	31,6	3,8	7,9	6,6	1,3	<NWG	<NWG	7,9
Mais B	27,9	4,4	8,6	2,4	2,2	<NWG	<NWG	4,5
Mais C	29,3	5,4	6,4	2,2	0,5	<NWG	<NWG	2,6
Mais D	34,2	4,4	6,3	2,7	0,6	<NWG	<NWG	3,3
CCM	61,8	4,0	4,8	2,3	0,3	<NWG	<NWG	2,6

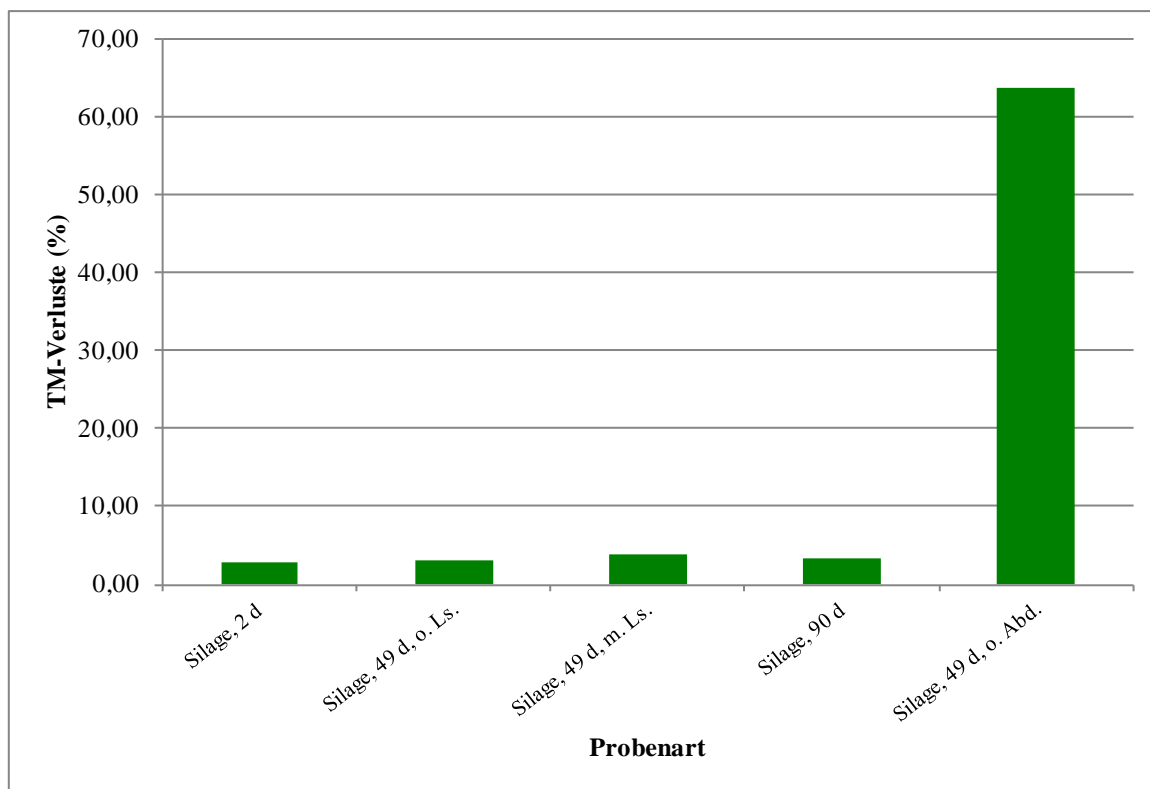
MS = Milchsäure, ES = Essigsäure, BS = Buttersäure, PS = Propionsäure, GS = Gesamtsäure, NWG = Nachweisgrenze

Der Praxisfall zeigt auf, dass in Silos, in welchen mehr als ein Substrat gelagert wird, unterschiedliche Arten von Verlusten relevant werden können:

1. durch die fehlende oder unzureichende Abdeckung, Sickersäfte, Kompostierung
2. durch Nacherwärmung
3. durch mangelnde Fermentation, bakteriellen Verderb

2.2 Laborsiloversuch

Mit speziell angelegten Laborversuchen wurde versucht, mögliche Verluste durch den Verzicht auf eine Abdeckung abschätzen zu können. Außerdem wurde die Gasausbeute verschieden abgedeckter Silagen ermittelt, um die wirtschaftlichen Effekte noch genauer beschreiben zu können. Bei fehlender Abdeckung wurden in diesen Laborversuchen über 60 % Verluste ermittelt. Diese Zahl ist aufgrund der unterschiedlichen Dimensionierung von Labor- und Praxissilos nicht auf Letztere übertragbar. Dennoch überraschte die Dynamik des TM-Abbaus (Abbildung 3).



d = Tage, o.Ls. = ohne Luftstress, m.Ls. = mit Luftstress, o.Abd. = ohne Abdeckung

Abbildung 3: Trockenmasseverluste in Laborsilos mit unterschiedlicher Behandlung

Schnell verfügbare Kohlenhydrate bzw. Restzucker und eindringender Sauerstoff führen dazu, dass sich zuerst Hefen und Schimmelpilze und später andere Mikroorganismen explosionsartig vermehren. Die Stoffwechselaktivität der Kleinstlebewesen erzeugt Wärme, welche als Nacherwärmung des Silos bekannt ist. Während dieser Nacherwärmung kommt es zu einem Anstieg des pH-Werts im Silo, was wiederum säureempfindlichen Bakterien entgegenkommt. Die Stoffwechselleistung von Bakterien ist deutlich höher als jene von Hefen oder Schimmelpilzen. Der Verderb des Substrats wird somit weiter beschleunigt. Neben dem Verlust an Trockenmasse durch Zellatmung, verliert auch das verbleibende Substrat an Biogasertragspotential (Tabelle 3). Die Gasausbeute je kg organischer Masse (oTM) des verdorbenen Materials lag im Batch-Versuch deutlich unter jener der Vergleichssubstrate.

Tabelle 3: Trockenmasseverluste und Gasbildungspotentiale von Laborsilagen bei unterschiedlichen Konservierungsverfahren

Variante	Verluste (% TM)	Biogas (l/kg oTM)
2 d	2,8	803
49 d, o. Ls.	3,2	869
49 d, m. Ls.	3,8	870
90 d	3,4	706
49 d, o. Abd.	63,8	654

d = Tage, o.Ls. = ohne Luftstress, m.Ls. = mit Luftstress, o.Abd. = ohne Abdeckung

3 Material und Methode

3.1 Ausgangssituation am Amt für Landwirtschaft und Forsten Nördlingen

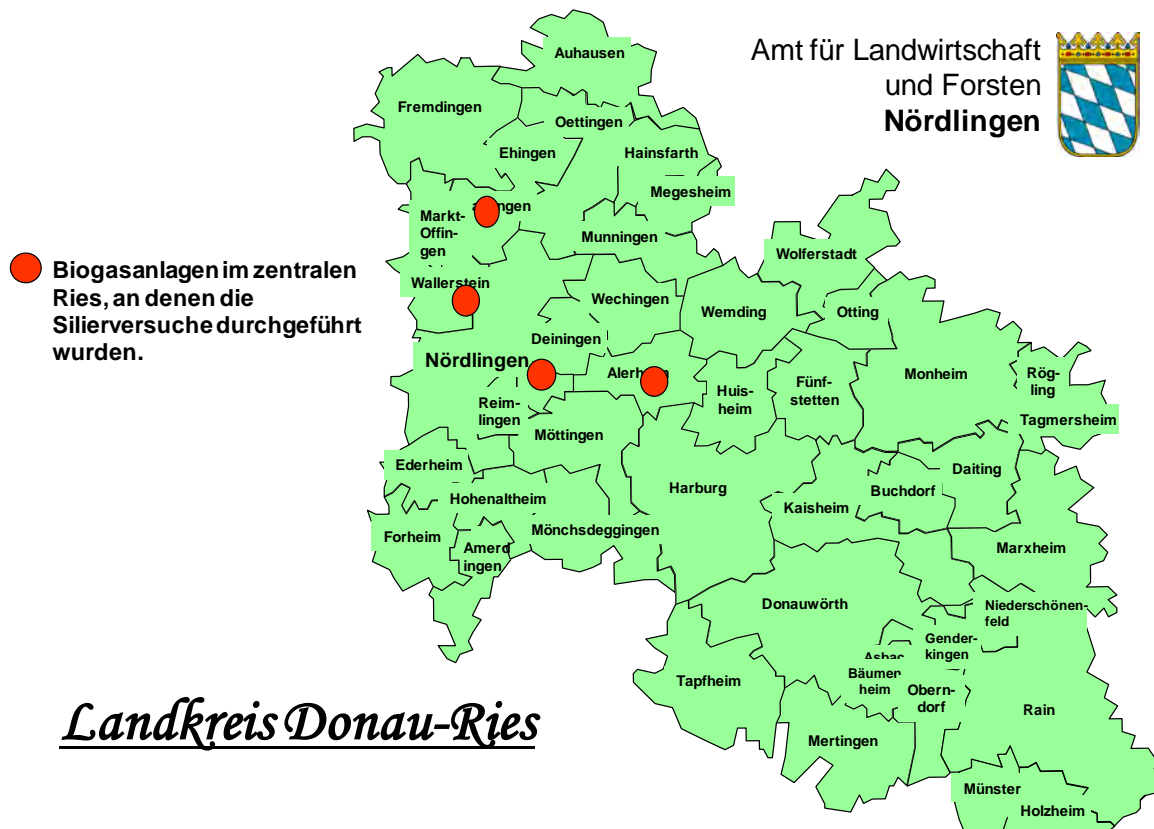


Abbildung 4: Lage der beteiligten Biogasanlagen im Landkreis Donau – Ries

Mit der Novellierung des EEG 2004 ist die Anzahl landwirtschaftlicher NaWaRo-Biogasanlagen sprunghaft gestiegen. Inzwischen hat sich die Biogaserzeugung aus nachwachsenden Rohstoffen zu einem Betriebszweig der Landwirtschaft mit regional z.T. erheblicher Bedeutung entwickelt. Unter anderem auch im Landkreis Donau-Ries. Mit einer durchschnittlich installierten Anlagengröße von 381 kW_{el} pro Anlage und 34 kW installierte Leistung/100 ha LF in 2007 nimmt dieser Landkreis einen Spitzenplatz bei der Biogaserzeugung ein. Dementsprechend hat sich die Beratung der Biogasbetriebe zu einem Beratungsschwerpunkt am Amt für Landwirtschaft und Forsten Nördlingen entwickelt.

Die Initiative zur Untersuchung der Auswirkung unterschiedlicher Abdeckungen bei Fahriloanlagen wurde gestartet, da es sich zur gängigen Praxis entwickelt hatte aus arbeitswirtschaftlichen Gründen auf die Abdeckung von Fahriloanlagen zu verzichten. Da Trockenmasseverluste bzw. die erzielbare Gasausbeute aus der Silage einen sehr großen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlagen hat, sollten fundierte Ergebnisse für die Beratungsarbeit gewonnen werden. Da Laborversuche und ähnlich kleindimensionierte Versuchsanstellungen nur eine begrenzte Aussagefähigkeit und Übertragbarkeit auf die Verhältnisse in der Praxis vermuten ließen wurden die Versuche auf bestehenden Biogasanlagen im Leistungsbereich von 300 kW bis über 1MW durchgeführt. Um eine möglichst gute

Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erreichen wurden räumlich sehr nahe beieinanderliegende Biogasanlagen mit ackerbaulich sehr ähnlichen Voraussetzungen ausgewählt. Alle untersuchten Anlagen befinden sich im zentralen Ries. Die weiteste Entfernung zwischen den Anlagen beträgt ca. 10 km Luftlinie (Abbildung 4).

3.2 Betriebsübersicht und Versuchsbeschreibung

In vier Betrieben im Landkreis Donau-Ries wurden im Herbst 2006 Bilanznetze in den Silomais eingelegt. Eine Übersicht über betriebliche Daten liefert Tabelle 4.

Es wurde teilweise mit wechselnder Anzahl an Häckslern geerntet. Festgefahren wurde ca. ab einem Drittel der Füllhöhe des Silos und verstärkt erst gegen Ende der Silierung.

Tabelle 4: Übersicht der Betriebe

	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 3	Betrieb 4
Silierzeit von – bis 2006	19. – 21. Sept.	18. - 23. Sept.	28. – 30. Sept.	15. – 20. Sept.
Silierdauer in Tagen	3	6	3	6
Einsilierte Fläche in ha	105	200	270	190
Siliermitteleinsatz		nein		
Abdeckung	Folie, Unterziehfolie und Netz	Grünraps	Gehäckselte Sonnenblumen, teilw. Folie	-
Dauer der Abdeckung	10 Personen je 4 h	6 ha Raps 6 h 2 Personen 2 Schlepper 1 Ladewagen	1 Schlepper ca. 8 h	-
Vorschub pro Woche	ca. 1 m	ca. 3 m	ca. 1,4 m	ca. 1,7 m
Entnahmetechnik	MB Truck mit Frontlader	Teleskoplader mit Reißzange	Teleskoplader mit Schneidschild	Radlader
Bergung der Bilanznetze	12.6.07 (oben) + 18.06.07	29.06.07	11.6.07	17.04.07 + 4.07.07 (unten)
Einlagerung der Netze im Silo in Tagen	19.-21.09.06 3 Tage	21.-23.09.06 3 Tage	28.-30.09.06 3 Tage	15.-20.09.06 3 Tage

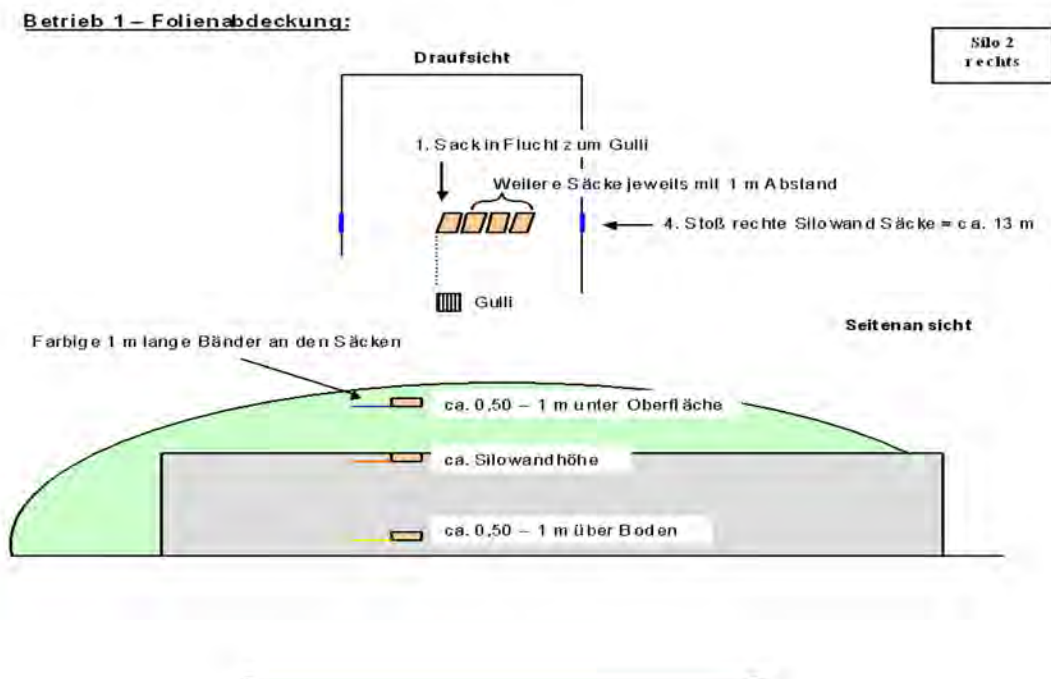


Abbildung 5: Lage der Bilanznetze im mit Folie abgedeckten Silo (Quelle: AELF Nördlingen)

Walzfahrzeuge waren der Verteilschlepper und ein oder mehrere weitere Traktoren, in der Regel mit Zusatzgewichten. Die Lage der Netze in den jeweiligen Silos ist den Abbildungen 5, 7, 9 und 11 zu entnehmen.

Insgesamt standen dem Betrieb 1 zwei Silokammern zur Verfügung mit je 21 m Breite und 55 m Länge. Eine Silostockhöhe von 4,0 bis 4,5 m wurde angestrebt, im Juli 2007 4,0 m gemessen. Die schrägen Seitenwände (Traunsteiner) waren 2,5 m hoch (Abbildung 5, Abbildung 6).



Abbildung 6: abgedecktes Silo nach Abschluss des Einsilierens (Foto: AELF)

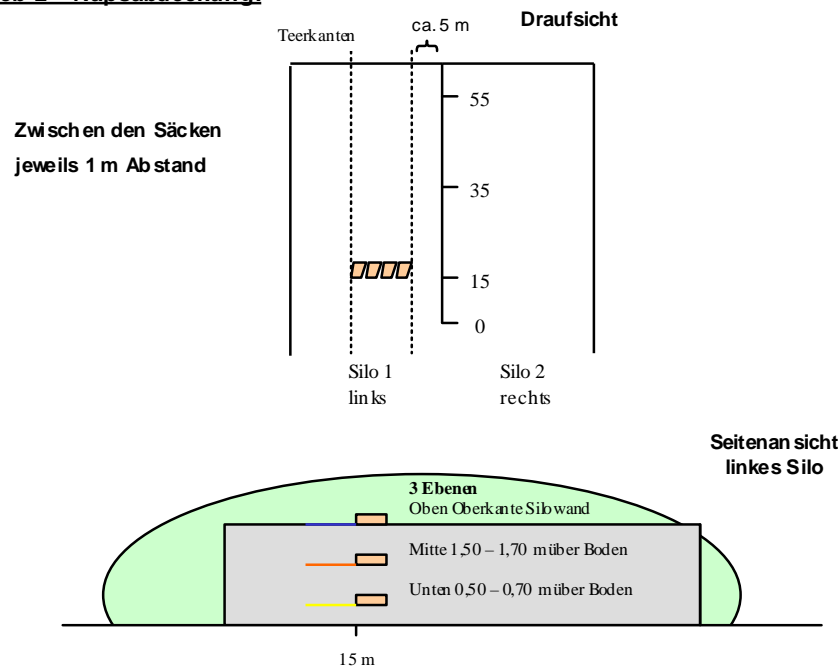
Betrieb 2 – Rapsabdeckung:

Abbildung 7: Lage der Bilanznetze im mit Rapshäcksel bedeckten Silo (Quelle: AELF)

Dem Betrieb 2 standen ebenfalls zwei Silokammern zur Verfügung mit je 22 m Breite und 70 m Länge. Eine Silostockhöhe von 4,5 m bis 5,0 m wurde erwartet, beim Controlling wurden 4,8 m gemessen. Die Silokammern hatten 2,5 m hohe schräge Seitenwände (Abbildung 7). Die Rapsschicht sollte eine Schmierschicht von 8 – 10 cm bilden und für das Wintersilo als Folienersatz dienen (Abbildung 8).



Abbildung 8: Anlieferung und gleichmäßiges Verteilen der Rapshäcksel

Betrieb 3 – Sonnenblumenabdeckung:

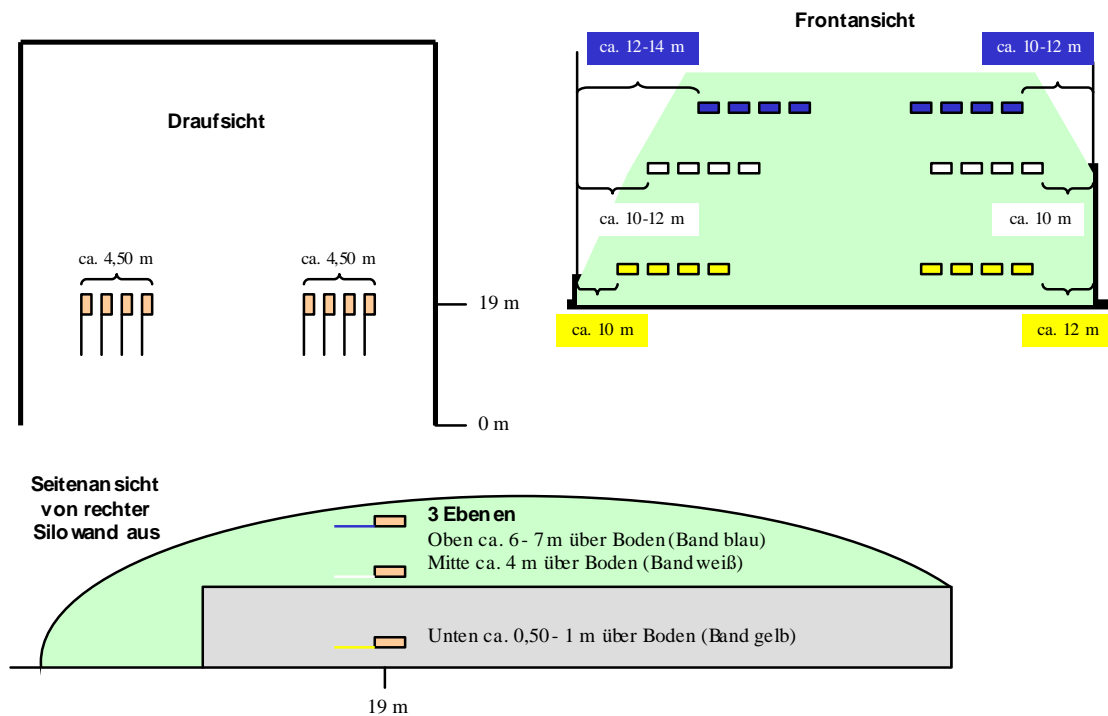


Abbildung 9: Lage der Bilanznetze im mit Sonnenblumenhäcksel und teilweise mit Folie bedeckten Silo (Quelle: AELF)

Der Betrieb 3 hatte eine Silokammer mit einer Breite von 50 m und einer Länge von 70 m. Eine Silohöhe von 6,0 bis 8,0 m wurde erwartet (gemessen 6,5 m). Die Silokammer besaß rechts eine 3 m hohe Silowand und linksseitig einen ca. 80 cm hohen Betonsockel (Abbildung 9). Das gesamte Silo wurde mit gehäckselten Sonnenblumen bedeckt. Auf der rechten Seite wurde das Silo oberhalb der Bilanznetze mit einer einfachen Folie ohne Netz mit einzelnen Reifen als Randbeschwerung abgedeckt (Abbildung 10). Es sollte der Einfluss der Folie auf die TM-Verluste festgestellt werden.

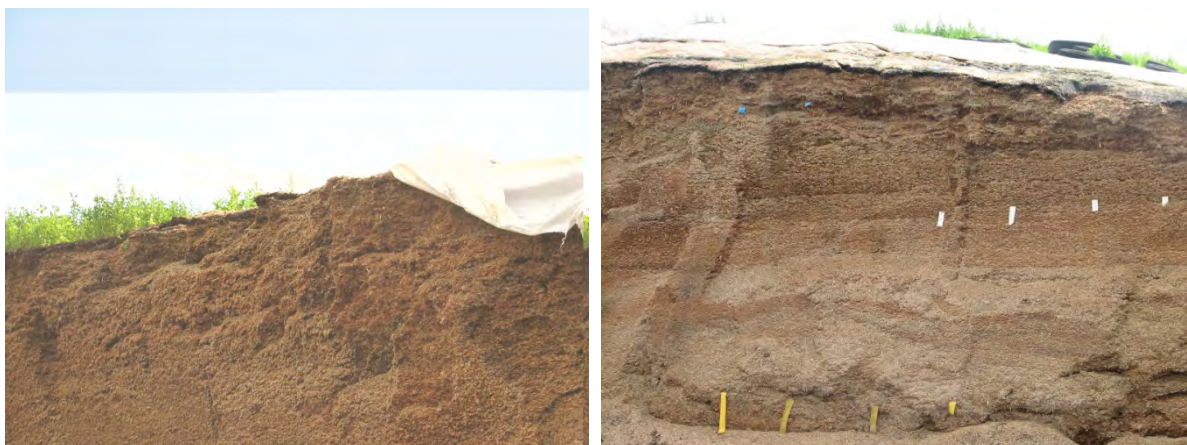


Abbildung 10: natürliche Begrünung und zusätzliche Folienabdeckung (links); Bilanznetze kurz vor der Bergung (rechts)

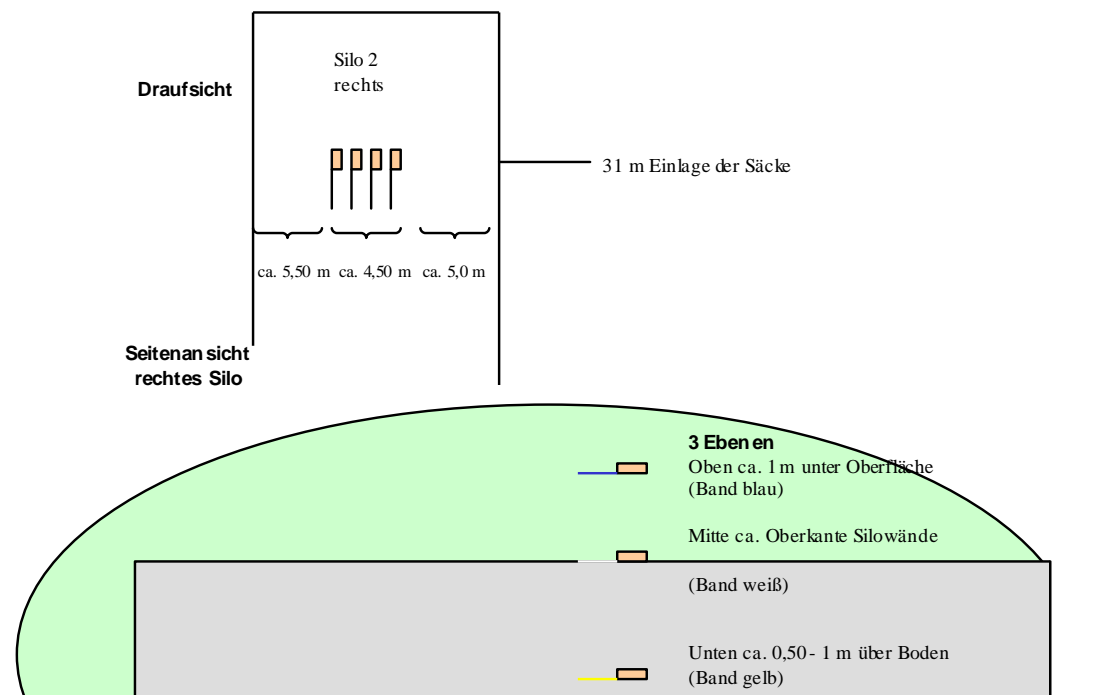
Betrieb 4 – ohne Abdeckung:

Abbildung 11: Lage der Bilanznetze im nicht abgedeckten Silo (Quelle: AELF)

Dem Betrieb 4 standen zwei Silokammern zur Verfügung, eine mit 35 m und eine mit 15 m Breite und jeweils 90 m Länge. Die schmalere der Silokammern wurde mit Bilanznetzen bestückt (Abbildung 11). Die Silokammer mit den Bilanznetzen hatte zwei Seitenwände mit je 2,5 m Höhe. Es wurde keinerlei Abdeckmaterial verwendet. Es wurde eine Silostockhöhe von 5,0 m erreicht.

3.3 Bilanznetztechnik

Je Bilanznetz wurden ca. 3 kg Ausgangsmaterial verwendet. Die Trockenmasse wurde durch Mitarbeiter des AELF Nördlingen mittels Trockenschrank bestimmt. Die Analyse der Roh Nährstoffe und Gärparameter erfolgte im Labor der Abteilung für Qualitätssicherung und Untersuchungswesen der LfL (AQU), Grub, nach Routinemethoden. Je Silo wurden 12 Bilanznetze in 3 Ebenen eingelegt (Abbildung 12). Die oberste Ebene wurde mit ca. 50 cm Material bedeckt. Die Entnahme der Netze erfolgte im Sommer 2007. Sobald vom Landwirt ein Band bei der Entnahme entdeckt wurde, wurden auch alle anderen Netze entnommen.



Abbildung 12: Lage der Bilanznetze im Silo, Kunststoffbänder in Richtung Anschnitt

3.4 Controlling am Silo

3.4.1 Temperaturmessung

Die Außentemperatur und die Silotemperatur an mindestens 6 Messpunkten mit zwei Einstichtiefen, 40 und 100 cm, wurden bestimmt (Anhang 1). Bei hoher Dichte des Silos wurde mit einem Bohrstecher vorgearbeitet um Beschädigungen der Messsonde zu vermeiden.

3.4.2 Bestimmung der Dichte und Probenahme

Die Probenahme erfolgt mit einem „Pioneer“-Probenbohrer. Es wurde möglichst waagrecht in der Silomitte beprobt, wobei für jeden Meter Silohöhe eine Bohrung von 30-40 cm Tiefe erfolgte. Das Probenmaterial wurde gewogen, das Bohrloch mit einem Meterstab vermessen und das Probenmaterial in eine Tüte für die TM-Bestimmung abgefüllt. Die Dichte wurde über den Durchmesser des Bohrzylinders und die Bohrtiefe bestimmt.

3.4.3 Laboruntersuchung

Die Analyse von Nährstoffen und Gärparametern wie Gärsäuren, Alkohol oder Ammoniak erfolgten nach Routinemethoden im Labor der Abteilung für Qualitätssicherung und Untersuchungswesen, Sachgebiet 5 (AQU 5), der LfL in Grub (siehe 8.1).

3.4.4 Batch-Versuche/Batch-Test

Die Versuche wurden am Institut für Landtechnik und Tierhaltung in Freising durchgeführt (siehe 8.3).

4 Ergebnisse

4.1 Controlling am Silo

4.1.1 Temperatur- und Dichtemessung

Bei allen vier Betrieben wurde im Juli 2007 zeitnah zur Bergung der Bilanznetze ein Controlling durchgeführt. Es wurde wurden jeweils die Temperaturen bei 40 und 100 cm Tiefe erfasst. Bei den in Tabelle 5 aufgeführten Temperaturen handelt es sich um jene bei 100 cm. Die Abweichungen der Messwerte bei 40 cm Tiefe waren unerwartet gering. Im mit Folie abgedeckten Silo waren die geringsten Temperaturunterschiede festzustellen. Nicht abgedeckte bzw. bedeckte Silos wiesen tendenziell höhere Temperaturen im oberen Bereich auf. Bei Messwerten über 30 °C wäre selbst an heißen Tagen von Nacherwärmung zu sprechen.

Tabelle 5: gemessene Temperaturen (100 cm) und Raumgewichte (kgTM/m³) an festgelegten Stellen der Silos mit unterschiedlicher Abdeckung

	Betrieb 1		Betrieb 2		Betrieb 3		Betrieb 4	
	°C	kgTM/m ³	°C	kgTM/m ³	°C	kgTM/m ³	°C	kgTM/m ³
oben	24,0	185	30,9	196	32,0	158	30,3	170
mittig	25,8	209	31,3	223	27,1	214	28,8	205
unten	23,9	249	27,6	251	24,6	240	26,4	220
Ø	24,6	214	29,3	223	27,9	204	28,5	198
Außen-temperatur	16,2		19,0		16,5		19,7	

Wie erwartet, stiegen die Raumgewichte im Silo von oben nach unten an. Zwischen den Abdeckungsvarianten war dabei kein klarer Unterschied erkennbar (Tabelle 5). Alle beprobten Substratlager verfehlten im oberen Bereich die Trockenmassegehalt abhängigen Orientierungswerte deutlich (Anhang 2). Überraschend gering erschien die Dichte von 220 kgTM/m³ im unteren Bereich des 5 m hohen Silos von Betrieb 4, vor allem im Vergleich zu den anderen Silos. Hier wurde eventuell zu spät mit der Walzarbeit begonnen. An dieser Stelle soll auf die hohen Trockenmasseverluste (17,6 %) in diesem Bereich des Silos verwiesen werden (Tabelle 8), welche unter Punkt 4.2.1 genauer diskutiert werden.

4.1.2 Rohnährstoffe der Silagen

Von allen Silos wurden die Rohnährstoffe erhoben. Anhand der Mittelwerte der Analyseergebnisse wurde das abgedeckte Silo von Betrieb 1 mit den nicht abgedeckten Silovarianten verglichen (Tabelle 6). Es konnten hierbei nur geringe Unterschiede festgestellt werden.

Tabelle 6: Ergebnisse der Rohnährstoffanalyse von Sammelproben, gebildet aus mindestens 3 Einzelproben je Ebene im Silo

		abgedeckt			Ø nicht abgedeckt *		
		oben	Mitte	unten	oben	Mitte	unten
XA	g	38	36	44	45	38	38
XP	g	76	79	75	89	79	76
XL	g	33	31	38	21	10	19
XF	g	192	202	173	200	204	202
NfE	g	694	653	669	646	670	665
Energie	MJ NEL	6,59	6,50	6,76	6,46	6,49	6,48

* die Ergebnisse der drei nicht abgedeckten Varianten wurden gemittelt

Wie erwartet kam es im oberen Bereich der nicht abgedeckten Silos zu einer leichten Anreicherung der Rohasche- und Rohproteingehalte sowie zu einer Verminderung der Stärke- und Energiekonzentration. Der relativ hohe Rohasche- und Energiegehalt des Probematerials „Silo abgedeckt, unten“ lässt sich nur schwer erklären. Denkbar wären Schlag oder Sorten spezifische Ursachen. Der niedrige Rohfasergehalt deutet jedenfalls auf einen deutlich höheren Kolbenanteil oder eine weniger ausgereifte Restpflanze hin. Eine mögliche Ursache der geringen Fettgehalte in den Silos ohne Abdeckung konnte nicht ausgemacht werden.

4.1.3 Gärqualität

Die Silos mit und ohne Abdeckung unterschieden sich insbesondere im oberen Bereich deutlich voneinander (Tabelle 7). Die Gehalte an Milchsäure waren im abgedeckten Silo am höchsten, ebenso der Gesamtsäuregehalt. Dagegen wiesen die nicht abgedeckten Silos besonders im oberen Bereich deutlich höhere Essigsäuregehalte auf. Diese können zu zwei Zeitpunkten entstanden sein. Beim Einsilieren, da heterofermentative MSB, welche Essigsäure bilden, toleranter gegen Sauerstoff sind und somit den homofermentativen MSB bei nicht abgedeckten Silos überlegen sein könnten. Haben sich die heterofermentativen MSB anfangs besser vermehren können, zieht sich die gesteigerte Essigsäurebildung im Laufe der Silierung und Lagerung fort.

Den zweiten Zeitpunkt, bei welchem es zur Bildung von Essigsäure kommen kann, stellt die Öffnung des Silos dar. Gemäßigter Sauerstoffzutritt führt zum oben beschriebenen Vorteil heterofermentativer MSB, außerdem greifen andere Mikroorganismen ins Geschehen ein. Das sind beispielsweise Acetobakter, welche Alkohol in Essigsäure umwandeln. Alkohol bzw. Ethanol war in den nicht abgedeckten Silos in höheren Konzentrationen nachweisbar als im abgedeckten, was diese Vermutung untermauern könnte.

Trotz aller Unterschiede erhielten alle Silagen nach Beurteilung der Qualität mit dem DLG-Schlüssel die Note 1. Dies beruht darauf, dass keine Buttersäure nachgewiesen werden konnte und sich diese beim DLG-Schlüssel sehr stark negativ auswirkt, die anderen Parameter dagegen schwächer gewichtet werden.

Tabelle 7: Mittelwerte aus der Analyse der Gärparameter von Einzelproben (n = 48)

		Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 3	Betrieb 4
		abgedeckt	Raps	Sonnenblumen	nicht abgedeckt
TM	%	33,81	31,74	29,74	28,05
pH		3,70	3,78	3,62	3,70
NH ₃ -N *	%	8,86	9,97	9,30	9,45
Milchsäure	g/kg TM	84 ^{a**}	69 ^b	83 ^b	87 ^b
Essigsäure	g/kg TM	15 ^a	29 ^b	17 ^a	27 ^b
Buttersäure	g/kg TM	-	-	-	-
Propionsäure	g/kg TM	-	0,1	-	-
Gesamtsäure	g/kg TM	98	99	100	114
Alkohol	g/kg TM	6 ^a	16 ^b	13 ^a	20 ^b

* Anteil des Ammoniak-Stickstoff am gesamten Stickstoff der Probe

** unterschiedliche Buchstaben bedeuten einfach signifikante Unterschiede ($p \leq 0,05$)

4.2 Trockenmasseverluste

4.2.1 Verluste in den Bilanznetzen

Bei der Ermittlung der TM-Verluste wurde die in Grub schon länger praktizierte Methode mit den Bilanznetzen eingesetzt. Mit Hilfe der Bilanznetze kann festgestellt werden, wie viel Trockenmasse zwischen Einsilieren und Entnehmen verloren geht. Die einzelnen Verluste in den Bilanznetzen streuten teilweise stark, eine Tendenz war jedoch deutlich zu erkennen (Tabelle 8). Bei allen Betrieben zeigen sich insgesamt niedrigere TM-Verluste, die aber innerhalb der verschiedenen Lagen unterschiedlich schwanken. Bei Betrieb 2 zeigt sich ein deutlicher Unterschied bei den TM-Verlusten in der oberen und in der mittleren Schicht.

Tabelle 8: TM-Verluste (Mittelwert (\pm Standardabweichung)) in Bilanznetzen bei unterschiedlicher Abdeckung und Lage im Silo

	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 3	Betrieb 4
TM-Verlust Bilanznetz ¹⁾	Folie	Raps	Sonnenbl.	keine
oben 1 bis 1,5 m unter Silooberkante in %	6,2 (0,7)	19,8 (1,0)	10,8 (2,2)	11,5 (2,7)
Mitte Silo in %	10,9 (1,9)	8,85 (1,9)	11,1 (2,1)	12,1 (1,9)
unten 1 bis 1,5 m über Boden in %	5,6 (0,8)	8,1 (1,9)	8,8 (1,2)	17,6 (7,4)

¹⁾ ohne Berücksichtigung der vergammelten und sichtbar verfärbten Schicht

Dies ist überraschend, da die Bilanznetze (anders als geplant) nur rund 60 cm im Silo auseinander lagen. Durch weitere Bilanznetzergebnisse, welche jedoch nicht Gegenstand des hier vorgestellten Versuches waren, wird untermauert, dass auch in nahe beieinander liegenden Proben sehr unterschiedliche TM-Verluste ermittelt werden können. Die sehr hohen Verluste in der unteren Schicht bei Betrieb 4 sind dadurch zu erklären, dass die Bergung der Bilanznetze nicht zeitnah zum Erscheinen der farbigen Bänder, sondern wesentlich später erfolgte. Der Anschnitt war bei der Entnahme bereits deutlich verfärbt und die Säcke lagen längere Zeit nur ca. 30 bis 70 cm hinter der Anschnittfläche. Dieser Wert sollte deshalb unter Vorbehalt betrachtet werden.

Wie stark sich die Trockenmasse in den Silos in Abhängigkeit zur Abdeckung ändern kann zeigt Abbildung 13. Gerade im oberen Bereich der Silos waren beim Verzicht auf eine Abdeckung Änderungen im Trockenmassegehalt von 5 %-Punkten und mehr messbar. Das Wiegen des Substrats beim Einsilieren und an der Eintragsschnecke ist also nur die halbe Wahrheit, wenn auf das Abdecken verzichtet wird.

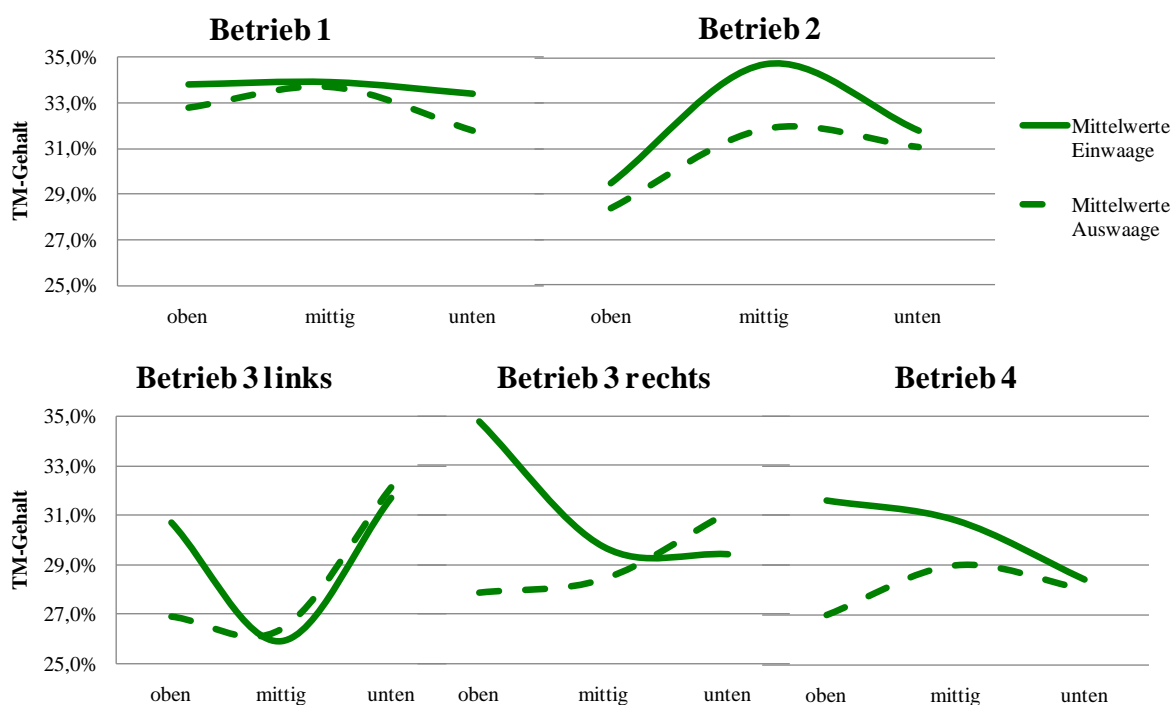


Abbildung 13: Verlauf des TM-Gehalts im Silo (von oben nach unten), geschätzt anhand der Trockenmassegehalte (korrigiert) in den Bilanznetzen zum Zeitpunkt des Einbringens und nach der Bergung

4.2.2 Abschätzung der Trockenmasseverluste ganzer Silos

Die Ermittlung der Gesamtverluste im Silo muss das eigentliche Ziel dieser Untersuchung sein. Da die Silos nicht vollständig verwogen und analysiert werden konnten, stellen Hochrechnungen, ausgehend von Stichproben (Bilanznetze), einen praktikablen Lösungsansatz dar. Deshalb wurde jeder Lage von Bilanznetzen prozentual eine Siloschicht zugeordnet (Tabelle 9). Außerdem wurden die Verluste in der schwarzen, hochgradig verdorbenen Schicht (Rotte, ganz oben) und die Verluste in der darunter liegenden, deutlich veränderten Schicht (sichtbare Verfärbungen) mit berücksichtigt. Ohne Folienabdeckung findet im obe-

ren Silobereich eine starke Umsetzung statt. Deshalb ist hier mit erheblichen Substanzverlusten zu rechnen. Es wurde davon ausgegangen, dass die TM-Verluste in der Rotteschicht bei ca. 78 % (ermittelt durch Bilanznetz) und die Verluste in der verdorbenen Schicht bei durchschnittlich 30 % (geschätzt) liegen.

Bei den Betrieben ohne Abdeckung liegen, ausgehend von den mit Bilanznetzen gewonnenen Daten, die gesamten TM-Verluste zwischen 13,0 % und 18,1 %. Der Durchschnitt liegt bei 16,0 % und somit doppelt so hoch wie bei Betrieb 1 (Folienabdeckung). Diese Art der Berechnung stellt natürlich nur eine Annäherung an die Realität dar. Den Autoren liegen keine Daten zur Dynamik der Rotteschicht vor, welche sich von oben nach unten bewegt.

Tabelle 9: Rechengang zur Abschätzung der TM-Verluste im gesamten Silo

	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 3	Betrieb 4
	Folie	Raps	Sonnenbl.	keine
Anschnittfläche des Fahrsilos:				
Höhe	4	4,8	6,5	5
Breite standardisiert	25	25	25	25
	100 m ²	120 m ²	163 m ²	125 m ²
Lage der Silonetze:				
Höhe obere Bilanznetze	3,0	2,0	5,9	4,5
Höhe mittlere Bilanznetze	2,0	1,4	4,7	2,7
Höhe untere Bilanznetze	1,0	0,4	0,9	0,5
Höhe der obersten Schicht mit sichtbarer Verfärbung ¹⁾	0,05	0,25	0,30	0,30
Höhe der schwarzen Rotteschicht ¹⁾	0,02	0,15	0,20	0,15
Zuordnung der Verlustanteile				
oben	36 %	56 %	11 %	19 %
Mitte	25 %	17 %	38 %	40 %
unten	38 %	19 %	43 %	32 %
oberste Schicht mit Verfärbung	1 %	5 %	5 %	6 %
Rotteschicht (schwarz)	0,50 %	3 %	3 %	3 %
gesamt:	100 %	100 %	100 %	100 %
durchschnittlicher TM-Verlust im Silo:	7,8%	18,1%	13,0%	16,8%

¹⁾ Die Höhe der Rotteschicht bzw. der verdorbenen Schicht wurde geschätzt, wobei bei allen 4 Betrieben der Anstieg der Verluste im äußeren Randbereich mit berücksichtigt wurde.

Die Momentaufnahme unterschätzt folglich die eigentliche Dimension dieser Schicht, da der Rest bereits „in Luft aufgegangen ist“. Abhängig von der Lagerdauer liegen die Verluste in nicht abgedeckten Silos vermutlich weit höher als berechnet.

4.3 Gasausbeute

Aus den geborgenen Bilanznetzen wurde zusätzlich Material einem Test zum Gasbildungspotential zugeführt. Die Ergebnisse der Batch-Versuche (Tabelle 10 und 8.3) unterliegen relativ starken Schwankungen und lassen keine gesicherten Ergebnisse zu. Dies zeigt sich besonders an teilweise stöchiometrisch unmöglichen Biogaserträgen. Allerdings zeichnet sich ein verminderter Gasertrag aus nicht abgedeckter Maissilage ab. Zur Ermittlung der durchschnittlichen Biogasausbeute, bezogen auf das gesamte Silo (Tabelle 11), wurden die gleichen Annahmen wie zur Ermittlung der TM-Verluste (Tabelle 9) zu Grunde gelegt und die Gaserträge aus den Batch-Versuchen prozentual den Siloschichten zugeordnet. Für die Rotteschicht (ermittelt 48 l/kg FM) und die verdorbene Schicht (geschätzt 150 l/kg FM) wurden verminderte Gaserträge angenommen, jedoch keine weitere Beeinflussung der Fermenterleistung (Schimmelpilze) in Betracht gezogen.

Tabelle 10: Gasausbeuten von unterschiedlich abgedecktem Material

	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 3	Betrieb 4
	Folie	Raps	Sonnenbl.	keine
Gasausbeute Bilanznetze in l/kg FM				
oben 1 bis 1,5 m unter Silooberkante	248	267	180	204
Mitte Silo	290	283	194	275
unten 1 bis 1,5 m über Boden	257	234	218	230
Gasausbeute Bilanznetze in l/kg oTM*				
oben 1 bis 1,5 m unter Silooberkante	762	930**	696	794
Mitte Silo	881	861	736	1004**
unten 1 bis 1,5 m über Boden	831	790	698	845

* abgeleitet aus den jeweiligen Rohasche- und Trockenmassegehalten, ** vermutlich überschätzter Gasertrag

Tabelle 11: geschätzte Biogaserträge von abgedeckten und nicht abgedeckten Maissilos (Mittelwerte, n = 3)

	Betrieb 1	Betrieb 2	Betrieb 3	Betrieb 4
geschätzter Gasertrag des Gesamtsilos in l je	Folie	Raps	Sonnenbl.	keine
kg FM	260	255	235	199
kg oTM	824	860	710	819

5 Fazit

Beim Controlling der verschiedenen Abdeckvarianten zeigte sich eine deutlich niedrigere Temperatur im Silo mit Folienabdeckung, vor allem im oberen Bereich. Bei der Dichtemessung lagen alle Betriebe zumindest im oberen Drittel, teilweise bis zur Hälfte des Silos unterhalb der geforderten, TM abhängigen Verdichtung (Anhang 2). Dies kann mit einer mangelhaften Walzarbeit begründet werden. Gerade in stark überfüllten Silos ist das Ausbleiben jeglicher Verdichtung aus Unfallschutzgründen nachvollziehbar, jedoch nicht gut zu heißen.

Die Roh Nährstoffanalyse belegt einen teilweise bereits fortgeschrittenen Verderb bei nicht mit Folie abgedeckter Silage. Die ermittelten Gärparameter zeigen ebenfalls eindeutige Unterschiede zwischen abgedeckten und nicht abgedeckten Silos auf, jedoch ohne größeren Einfluss auf die Bewertung nach dem DLG-Prüfschema.

Am deutlichsten im Vergleich der Varianten mit und ohne Folienabdeckung sind die TM-Verluste. Nach der vorliegenden Feldstudie sind die Verluste in den nicht abgedeckten Silos zum Teil doppelt so hoch wie beim Silo mit Folienabdeckung. Bei der Abschätzung der wirtschaftlichen Schäden ist zu berücksichtigen, dass sich diese nicht nur auf die TM-Verluste selbst beziehen. Die Wiederbeschaffung von verlorenem Substrat, Mehrkosten für größere Silos oder auch entgangener Ertrag durch Verstromung oder Verkauf müssen hierbei berücksichtigt werden.

Einerseits überrascht es, dass verrottetes Material überhaupt noch ein nennenswertes Gasbildungspotential aufweist. Andererseits war dieses auf ein Viertel des ursprünglichen Potentials verringert. In wie fern das Fermentergeschehen durch verrottetes Material beeinflusst wird, konnte mit den vorhandenen Möglichkeiten nicht untersucht werden. Doch auch so wird deutlich, dass mangelhaft abgedeckte Silagen geringere Gasausbeuten liefern, als die Variante mit Folienabdeckung.

Darüber hinaus muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass Silos grundsätzlich gegen das Eindringen von Niederschlagswasser zu schützen sind. Nur in Ausnahmefällen und unter verstärkten Auflagen hinsichtlich des Sickersaft-Managements und Lagerkapazitäten ist der Verzicht auf eine Abdeckung zum Zeitpunkt dieser Veröffentlichung noch möglich.

6 Beratungsempfehlung

Die Ergebnisse der Dichtemessungen verdeutlichen die Schwierigkeiten der Silagebereitung in überfüllten Fahrsilos. Werden diese Silos mit Folie abgedeckt, gewinnt die Unfallverhütung zusätzlich an Bedeutung. Der Bau von ausreichend Fahrsilokapazität ist somit primär zu empfehlen. Wird das Überfüllen von Silos vermieden, ist eine bessere Verdichtung möglich, Randverluste durch offene Siloflanken entfallen, der Vorschub kann erhöht, die Gefahr der Nacherwärmung weiter vermindert werden und die Unfallgefahr wird durch die niedrigeren Stockhöhen wesentlich verringert. Abdecken vermeidet darüber hinaus den Anfall unnötiger Mengen Sickersaft, für welchen Lagerkapazitäten vorgehalten werden müssen.

7 weiterführende Literatur

Honig, H. (1990): Silage quality and losses : farm scale silage experiments. Proceedings of the EUROBAC Conference, 12-16 August 1986, Uppsala, Sweden ISSN/ISBN: 91-576-4525-6.

Nussbaum H. (2007): Biogassilage ohne Folie – Lohnt das? Top agrar, 9, 68-72.

Peters, G.; Weißbach, F. (1974): Sickersaftbildung bei der Grünfuttersilierung in Abhängigkeit von verschiedenen Einflussfaktoren. F/E-Bericht, AdL, Berlin.

Pflaum, J. (1994): Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt, 35, 46-48.

Richter W, Kaiser F (2006) Voruntersuchungen zu Fermentationsverlusten im Laborsilo. Abdeckung von Silage für Biogas ein Muss ? Poster, EUROTIER, Stand LfL H23, H12.

Richter, W., Zimmermann Natalie, Petra Rauch, Lipovsky, J., Bauer, J., Spiekers, H. (2007): Controlling am Silo am Beispiel Silomais. Weniger Verluste und bessere Tiergesundheit. Mais, 34, 2, 72 – 74.

Richter, W., Triller-Hofmann (2008): Untersuchungen zu Verlusten an Trockenmasse in Siloanlagen mit unterschiedlicher Abdeckung bei Biogasanlagen. 120. VDLUFA-Kongress, Kurzfassungen.

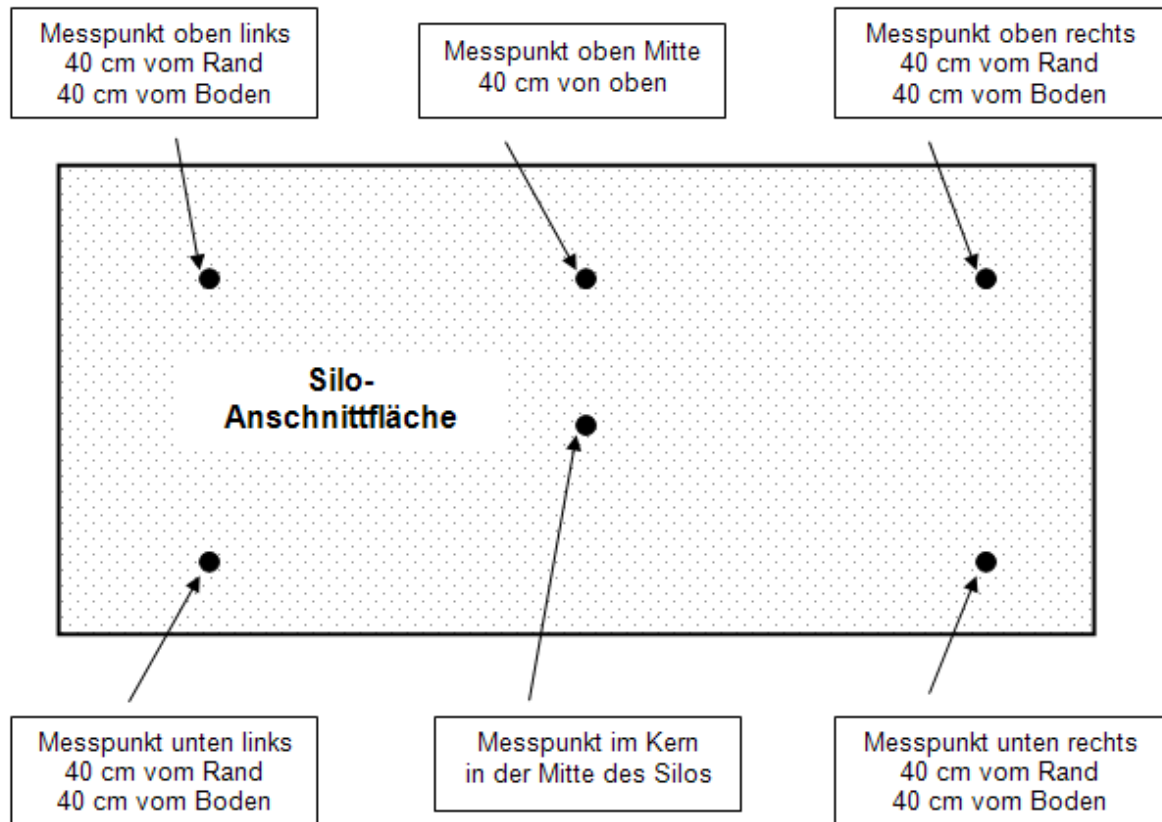
Strobl, M. Keymer, U. (2006): Technische und ökonomische Kennzahlen landwirtschaftlicher Biogasanlagen. LANDTECHNIK, 5, 266-267.

Weißbach, F. (2008): Zur Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Maissilagen als Substrat für die Biogasgewinnung. DMK Futterkonservierung und Fütterung, Tagungsband, 12-13.

Weißbach, F., Kuhla, S. (1995): Stoffverluste bei der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Silagen und Grünfütter: Entstehende Fehler und Möglichkeiten der Korrektur. Übersichten Tierernährung, 23, 189-214.

8 Anhang

Anhang 1: Messpunkte der Temperaturmessung



8.1 Nährstoffuntersuchungen

Zur Bestimmung der Trockenmasse wurden 300 bis 400 g der Frischproben in ein Trockenblech gewogen und im Trockenschrank für 36 h bei 65 °C und Frischluftbetrieb vorgetrocknet. Anschließend wurden die Proben 4 h bei 105 °C im Umluftbetrieb bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Nach Rückwaage wurde der Trockenmassegehalt berechnet. Die Analysenprobe wurde ausschließlich bei 65 °C getrocknet. Die getrockneten Proben wurden auf einer Schneidmühle der Fa. Brabender, System Wiley, auf < 1mm vermahlen und für die Untersuchungen in Braunglasflaschen abgefüllt. Die Nährstoffuntersuchungen der Silageproben erfolgten mittels NIRS Analyse an einem NIRSystems 6500 Gerät der Fa. Foss. Die Kalibrierfunktionen wurden im Zentrallabor Grub der LfL entwickelt und gepflegt. Sie basieren auf den nasschemisch ermittelten Referenzdaten von ca. 1000 Proben je Matrix verschiedenster Standorte, Sorten und Jahrgängen mit möglichst weiten Gehaltsbereichen der Inhaltsstoffe. Sie umfassen die Parameter Restfeuchte, Rohprotein, Rohfaser und Rohasche. Die Messung erfolgt in Quarzküvetten in Doppelbestimmung. Zur energetischen Bewertung wurde ZifoWin 1.0 eingesetzt.

8.2 Gärparameteruntersuchungen

100 g der homogenisierten Frischprobe wurden in einen Henkelbecher eingewogen und mit 1000 ml entionisiertem Wasser versetzt. Zur Konservierung der Ansätze wurde 1 ml Thiomersallösung (1%, g/v) zugegeben. Zur Extraktion der wasserlöslichen Gärparameter wurden die Ansätze 12 h bei 10 bis 15 °C unter gelegentlichem Rühren mit einem Glasstab stehen gelassen. Anschließend wurde über einen Faltenfilter (S&S 595 1/2) abfiltriert und Aliquote (Teilmengen) für die ionenchromatographischen Bestimmungen über einen Membranfilter (Millipore 0, 45 µm) in Probengeberfläschchen überführt. Die Messung der pH Werte in den filtrierten Extrakten erfolgte mit einem pH Meter der Fa. WTW inolab level 2 und einer Schott Einstabmesskette BlueLine pH 24 nach Temperaturkompensation.

8.2.1 Bestimmung der Gärsäuren

Der Gehalt an Milch-, Essig-, Propion- und Buttersäuresäure wurde ionenchromatographisch bestimmt. Die Trennung der Säuren erfolgte mit einem Ionenchromatographen BIO LC 600 der Fa. Dionex auf einer Trennsäule HPICE AS 1, 250 x 4 mm mit einer Vorsäule LiChrospher 100, RP 18 5 µm, 25 x 4 mm bei 30 °C Säulentemperatur. Als Laufmittel diente 1,5 mmol Oktansulfonsäure in 2 % i-Propanol in entionisiertem Wasser (v/v) bei einem Fluss von 0,8 ml/min und einem Druck von 1300 psi. Zur Steigerung der Empfindlichkeit wurde ein Membransuppressor AMMS-ICE II eingesetzt, der mit 10 mmol Tetrabutylammoniumhydroxidlösung und einem Fluss von 3,0 ml/min gespült wurde. Die Detektion der Säuresignale erfolgte im Leitfähigkeitsdetektor ED 50, Fa. Dionex. Die Quantifizierung der Säuren wurde nach der externen Standardmethode durchgeführt. Zur Gerätesteuerung, Datenaufzeichnung- und Auswertung wurde das Labordatensystem Chromeleon v. 7.30 der Fa. Dionex eingesetzt.

8.2.2 Bestimmung des Ammoniakgehaltes

Der Gehalt an Ammoniak wurde ebenfalls ionenchromatographisch bestimmt. Am Ionenchromatograph DX 300 der Fa. Dionex erfolgte die Trennung und Quantifizierung auf einer Säule CS 12, 250 x 4 mm mit Vorsäule IonPac CG 12, 40 x 4 mm mit dem Eluenten 1,5 mmol Oktansulfonsäure in 2 % (v/v) i-Propanol in entionisiertem Wasser und einem Fluss von 0,8 ml/min. Ein Kationen-Micromembransuppressor CMMS-ICE II mit einem Regenerens aus 50 mmol Tetrabutylammoniumhydroxidlösung und dem Fluss von ca. 3,0 ml/min wurde zur Steigerung der Empfindlichkeit eingesetzt. Die Detektion erfolgte im Leitfähigkeitsdetektor ED 50, Dionex. Quantifiziert wurde nach der externen Standardmethode. Gerätesteuerung, Datenaufzeichnung- und Auswertung erfolgten mit dem Labordatensystem Chromeleon v. 7.30 der Fa. Dionex.

8.2.3 Bestimmung des Alkoholgehaltes

Die Bestimmung erfolgte enzymatisch aus dem Filtrat unter Verwendung des Ethanol-Testkits 10.176.290 r-biopharm und photometrischer Quantifizierung bei 340 nm.

8.3 Bestimmung der Gärgasbildung

Die Untersuchungen richten sich nach der VDI Richtlinie 4630. Die Untersuchungen finden über eine Dauer von 35 Tagen in Versuchsfermentern mit einem Volumen von zwei Litern, bei einer Temperatur von 38 °C statt und erfolgen im Dreifachansatz. Die Gasqualität wird vollautomatisch (AWITE) an einer Mischprobe aus diesen Ansätzen ermittelt. Die Gasmenge (Milligasähler[®], RITTER) wird stündlich festgehalten.

Anhang 2: Orientierungsbereich für die Dichtemessung

Grassilage		
TM %	Orientierungsbereich kg TM/m³	Orientierungsbereich kg FM/m³
20	155 – 165	775 - 825
25	170 – 180	680 - 720
30	190 – 200	633 - 667
35	205 – 215	585 - 615
40	220 – 230	550 - 575
45	240 – 250	533 - 555
50	255 – 270	510 - 540
55	275 - 290	500 - 530
Maissilage		
TM %	Orientierungsbereich kg TM/m³	Orientierungsbereich kg FM/m³
27	200 – 215	740 - 800
28	210 – 225	750 - 805
29	220 – 230	760 - 790
30	230 – 240	767 - 800
31	235 – 245	760 - 790
32	240 – 255	750 - 795
33	250 – 265	760 - 800
34	255 – 270	750 - 795
35	260 – 275	740 - 785
36	265 – 280	725 - 780
37	270 – 285	730 - 770
38	275 – 290	725 - 765
39	280 – 295	720 - 755
40	285 - 300	715 - 750

Anhang 3: Ergebnisse der Batch-Versuche zum Biogasertag unterschiedlich abgedeckter Silagen

Biogasertag in Abhängigkeit der Abdeckung und der Schichten (bezogen auf FM)

